

「第57回ガラスおよびフォトニクス材料討論会」 参加報告

京都大学大学院 工学研究科 材料化学専攻

村井 俊介

Report on the 57th Symposium on Glass and Photonics Materials

Shunsuke Murai

Department of Material Chemistry, Graduate School of Engineering, Kyoto University

1. はじめに

本格的な秋を迎え、京都を囲む山々も色づく2016年11月13・14・15日の3日間、京都大学吉田キャンパス・国際融合研究棟にて第57回ガラスおよびフォトニクス材料討論会が開催された。田部勢津久先生（京大）を中心とした実行委員会による円滑な運営のもと、多数の研究発表と活発な討論が3日間に渡り行われた。今回は、第12回ガラス産業連合会シンポジウム（GIC 12）に加え、田部先生・Ballato先生（Clemson大学）がCo-Chairとなり、American Ceramics SocietyのGlass and Optical Material Division（GOMD）とのJoint Symposiumが企画された。これに伴い、例年2日間であった討論会が3日間になるとともに、講演の多くが英語で行われた。本稿では、英語セッションのうち、いくつかの講演について時系列に沿って報告させていただく。

2. 講演内容

1日目：GOMDとの共催であることもあ

り、日曜日にも関わらず世界各地から詰めかけた多数の参加者により熱気に包まれる会場において、3日間の学会が幕を開けた。

- ・中沢正隆（東北大）“The EDFA Odyssey”（基調講演）：言わずと知られたErドープ光ファイバー増幅器（EDFA）のバイオニアより、1980年代半ばの研究開始から、プロトタイプを試作と実用化、さらに最新の波長安定型・超高速ガラスファイバーレーザーや、マルチコアファイバーレーザー（up to 36コア!!）までレビューをいただいた。開発初期における世界のコンペティターとの競争から抜け出す1つの鍵が、レーザーダイオード励起であり、それにより通信システムへの導入が他のグループに比べスムーズであったことが臨場感を持って伝えられた。研究開発における先見性と戦略がいかに重要かを再認識させられる内容であった。
- ・Martin Richardson（U. Central Florida, Nanjang Tech. U.）“Glass and ceramics challenges for the next generation of high power laser”（招待講演）：1960年のMaimanの可視光レーザー発振の成功の裏には時計メーカーからの高品質ルビー結晶の提供があったエピソードに続き、現在まで続く高出力CWレーザー開発の歴史と応用が語られた。

特にリン酸塩ガラスの組成開発に対するHOYAの泉谷徹郎博士の寄与が紹介された。また応用に関しては、核融合、EUVリソグラフィ、3D加工、防衛など、レーザーでなければ実現できない多くのキラアアプリケーションが紹介された。高出力レーザーはタービン、ロケット、飛行機のエンジンなど複雑な形状をもつ硬質材料の3D加工ができる唯一のツールである。また防衛においては、レーザー照射によるミサイル撃墜や戦車の装甲の破壊など、SFさながらの応用が展開されている。最後に、今後の展開として、中～長赤外(波長 $10^3\sim 10^4\mu\text{m}$)のレーザーの開発とセラミックレーザーへの期待が語られた。

・平等拓範(分子研)“GW-class giant pulse micro-lasers by using domain control”(招待講演)：冒頭に坂村健先生(東大)のTRON構想とユビキタス社会が論じられた後、ユビキタスパワーレーザーのコンセプトが紹介された。特に重要な応用として、1998年のセラミックマイクロチップレーザー開発に始まる、レーザープラグ開発の歴史が語られた。レーザープラグは、現状のスパークプラグでは達成不可能な低濃度・高圧での燃焼を可能にし、エンジン燃費向上に大きく寄与する。実際2013年には車にレーザープラグを搭載した実験がスタートした。実用化に向けた課題は製造コストであるが、船舶、飛行機、宇宙船など自動車より過酷な環境で使用されるエンジンへの搭載が先行する可能性がある。最後に皆がマイクロレーザーチップをもつ時代への構想が示された。

・John Ballato (Clemson U.)“Materials solutions to parasitic effects in fiber lasers and amplifiers-towards the perfect optical fiber”(招待講演)：100 kW 級の高出力ファイバーレーザーの開発に伴い、熱膨張に伴う密度・体積変化、応力発生、非線形光学効果などが発振特性に及ぼす影響が看過できなくなっ

た。これらの効果を抑える光ファイバーとして、これまでは非線形光学効果の研究の延長でフォトニック結晶ファイバーを用いた検討が進んでいた。対して講演者は材料化学的なアプローチを用い、YAGやBaOなど、異なる光学結晶を組み合わせたコアクラッド構造を持つ光ファイバーにより熱発生に伴うこれらの効果を克服できることを示した。テクノロジーがdemand-drivenで進む好例であった。

・Shibin Jiang (AdValue Photonics Inc.)“Rare-earth doped silicate glass fiber lasers”(招待講演)： $2\mu\text{m}$ 発振の Tm^{3+} ドープガラスレーザーをはじめ製品化した高出力IRレーザーが紹介されるとともに、その3D加工への応用例が示された。実際に製品を開発・販売する企業人からの講演は非常に説得力があり、近年のハイパワーレーザーの進歩を再認識させるものであった。また、ハイパワー化に伴い重要性を増すアイソレータに関して、世界最高水準の性能を持つ光ファイバーアイソレータ製品が紹介された。

・Jacques Lucas (U. Rennes)“Sulfur and tellurium glasses for CO_2 sensing”(招待講演)： CO_2 の近赤外吸収(4.3 および $15\mu\text{m}$)を検出するファイバータイプのセンサーの開発が紹介された。 Dy^{3+} をドープした硫化物ガラスは波長 $4.4\mu\text{m}$ 付近に発光し、 CO_2 検出のための有効な光源となる。また、 $20\mu\text{m}$ まで透明なAgI-Ge-Te系のガラスを用いれば $15\mu\text{m}$ 光の伝送と検出が可能となる。講演者はこれらのカルコゲナイドガラスファイバーを用い、地下の CO_2 濃度を計測可能なセンサーを開発した。地球温暖化の抑制に向けて、地下など容易にアクセスできない場所の CO_2 濃度検出ができるセンサーは非常に有用である。カルコゲナイドガラスの将来性を再認識する講演であった。

・西井準治(北大)“Behavior of alkali and alkaline-earth ions in silicate glasses under DC

voltage application” (招待講演) : 講演者らは2008年ごろから電圧印加によるガラスのインプリントを報告してきた。加熱しながら直流電圧を印加することで、ガラス中のアルカリの移動を誘起することができる。インプリント後にKOH水溶液でウェットエッチングすることでモールドの構造を反映した表面構造を得ることができる。アルミノ珪酸塩ガラスとソーダライム珪酸塩ガラスではエッチング後の凹凸構造が反転するが、これはイオンの移動とそれに伴う応力発生で説明できる。講演者はこの原理を利用し、リン酸塩ガラス中への高濃度プロトン導入を試みた。インプリントによって150°Cの T_g 低下があり、プロトン導入に伴うガラスネットワーク強度の低下が示唆された。得られたガラスは 10^{-3}Sm^{-1} 程度の導電性を示し、あと一桁導電率を高められれば中温領域で働く固体電解質の応用も視野に入る。

- ・ Francesco Gonella (Ca' Foscari U.) “The science of glass and the art of glassmaking: still an entwined story” (招待講演) : 3000年前のエジプトの出土品から2000年前ローマの工芸品、16世紀から現代まで続くムラーノガラスまで、美術品としてのガラスが紹介され、銀ドープガラスを例に、芸術品からバイオ、フォトンクスまで幅広いガラスの応用と角野公平先生(京都工繊大)のステイン法を含むガラス作製技術が示された。また後半はムラーノ島のガラス工芸の現状について時間が割かれた。150ほどの工房で6000人程度が働いているそうである。最後にAsやCdに曝されるガラス工芸作家の現状も紹介され、工芸分野も環境問題と無縁ではないことが印象に残った。

初日はEDFAから高出力ファイバーレーザー、カルコゲナイドガラスファイバーまで、ファイバーガラスの動向がわかる非常に充実したプログラムでした。講演後は国際シンポジウムらしくレセプションが開催され、

会場に入りきれないくらいの参加者で大変盛況でした。

2日目: 友澤稔 (Rensselaer PI) “Effects of water on glass properties” (基調講演) : 水によるガラスの機械的強度の変化について、この分野の先駆者である友澤先生から基調講演をいただいた。水は加水分解を通じガラス強度を低下させクラックの進展を促すという教科書的な理解を超えた、複雑で多面的な水の影響について近年の研究を中心に示された。水が構造内に入ると、構造が弱くなりクラックの進展を促すのと同時に、応力の緩和も起こり、クラック進展を鈍らせる。したがって量が大事で、「毒にも薬にもなる」、という言葉が印象的であった。

- ・ 細野秀雄 (東工大) “Electride glass: heroic role of electron anion” (基調講演) : ガラス中の電子状態について、1977年のN. MottのNobel lectureにおける問いかけ“Why glass is transparent?”から $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ (C12A7) エレクトライドの発見、さらにC12A7溶融メルトおよび急冷後のガラスもエレクトライドとして振舞うことが鮮やかに示された。C12A7溶融急冷ガラス中の O^{2-} を e^- に置換することで T_g が860°Cから700°Cへ160°C低下する。これは初日の西井先生の講演で、アルカリを H^+ に置換することで T_g が150°C低下する報告と同程度の値である。ガラス中には H^+ や Li^+ など、移動度の高いイオン種が存在するが、 e^- はガラス中に存在する究極のMobile種であることが議論された。

2日目の午後は学生実験指導(1回生向けの定量分析)のため、残念ながらこの時間帯の講演を聞き逃しました。この定量分析の実験課題の1つがヨードメトリーによる次亜塩素酸ナトリウムの定量です。細野先生の講演の中で、エレクトライドの電子濃度をヨードメトリーで求めており、この分析手法の基礎的かつ実践的な重要性を再認識しました。

3日目：Younes Messaddeq (U.Laval)“Advances in glassy materials and multifunctional optical fibers” (招待講演)：Wifi アンテナとして作動する同軸ケーブルを衣類に埋め込むことで、災害時の位置確認システムや医療用のバイオセンサーとしての応用が可能で、ネットワーク社会のインフラ技術となる可能性が示された。また、実際に繊維に織り込んで、曲げ、濡れなどの刺激による共鳴周波数シフトが報告された。さらに、高次のセンシングを可能とする技術として、2つのコアで電気信号と光信号を同時に得るエレクトロオプティクスファイバー技術が紹介された。

- ・Jong Heo (POSTECH), “Clustering of rare-earth oxides in PbS quantum dots precipitated in glasses” (招待講演)：希土類イオンを結晶核とすることで、シリカベースガラスにPbS ナノ結晶を自在に析出させる技術を開発した。この結晶化ガラスはファイバー化もできる。希土類イオンが結晶核となることを明らかにした強力な解析手法が Atom Probe Tomography であり、3次元の元素マッピングを実現した。

- ・Gerhald Fasol (Eurotechnology Japan K. K)“Puzzles of glass” (招待講演)：N.Mott の1977年の Nobel lecture に始まり、エントロピーとは何かについて、ガラスのみならず情報工学におけるシャノンのエントロピーや講演会場の席の埋まり方など、普遍的な物理量としての側面が議論された。また、 $s = k \log W$ を導出した Boltzmann に関して、そのライフヒストリーとそこから学べることをご紹介いただいた。講演者は母方が Boltzmann の血筋で、学生時代はケンブリッジで Mott に師事したサラブレッドで、その経歴を含め魅力的・啓発的な内容であった。

- ・曾我公平 (東京理科大)“Design and application of ceramics nanoparticles for near infrared biophotonics” (招待講演)：生体の窓を利用したイメージングと医療応用について

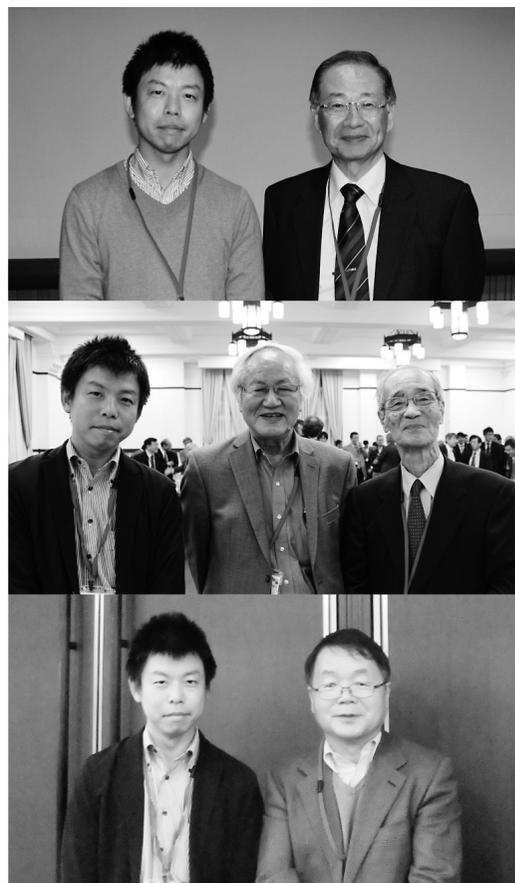


写真1 基調講演の先生方と。(上) 中沢先生 (中) 友澤先生 (中央) (曾我先生 (右) と一緒に) (下) 細野先生。

て、装置開発と商品化から、複数の発光ピークの強度比から温度のモニタリングを行う Ratiometry まで、最先端のお話をいただいた。生体イメージングの材料開発・技術開発を並行して進め、まさに分野を開拓していく凄みを感じさせる講演であった。

3. おわりに

3日目には GIC Melting Session が行われ、溶融にかかわる活発な議論が行われた。詳細は他の報告記に譲ります。また、学会が密で充実していたため、ここで紹介できなかった数多くの重要な講演があったことを記しておきます。最後に、Local Organizer として運営を支えら

れた上田純平（京大）・西正之（京大）・中西
貴之（北大）・片山裕美子（東大）各先生方,

および田部研の学生の皆様に感謝いたします。